CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS - CBPF
(Fundado em 1949)

# VI ESCOLA DO CBPF
17-28/JULHO/2006

- FÍSICA PARA TODOS -

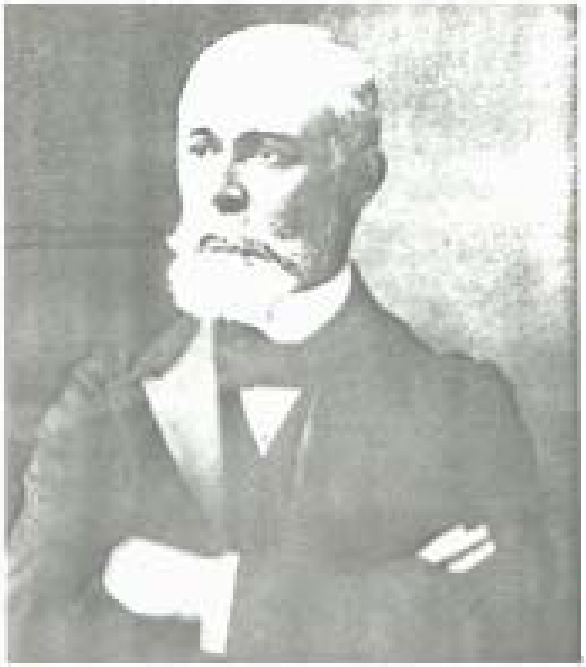



## FÍSICA NUCLEAR: ORIGENS, DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÕES

por
Odilon A. P. Tavares
CBPF/MCT

RIO DE JANEIRO-RJ, 25/JULHO/2006


Ken Tomabechi



Antoine Henri Becquerel (1852-1908)

Sur les radiations **invisibles** émises par les corps phosphorescents.

Compt. Rend. Acad. Sc. Paris **122** 501 (1896)

Sab. 29 Fev.

Rayonnement spontané de l'uranium et de diverses autres substances.

On a découvert en 1895 (1) que l'uranium métallique et tous les sels de ce métal émettent un rayonnement dont les propriétés sont très voisines de celles des rayons de Röntgen ; il impressionne les plaques photographiques au travers de divers corps opaques pour la lumière, il provoque la décharge des corps électrisés en rendant conducteur les gaz qui les entourent. Ce rayonnement paraît spontané, car il se manifeste avec une intensité sensiblement constante dans des corps conservés depuis une année à l'abri de toute excitation connue, dans quy l'on ait pas reconnaître à quelle source ce corps empruntait l'énergie qui le rayonne dans l'air. Le même phénomène a été observé avec le Thorium et récemment Mr et Mme Curie en utilisant ses propriétés comme un nouveau moyen d'analyse, ont découvert deux matières beaucoup plus actives que l'uranium, qu'ils ont nommées le Polonium et le Radium ; l'intensité du rayonnement de ces matières est surprenante pour celle du phosphorescence du platino-cyanure de Baryum.

(1) H. Becquerel, Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1896)



Pierre e Marie Curie (~1898)

**1898**

- 18/JUL: Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende. (descoberta do Polônio)
- 20/DEZ: Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende. (descoberta do Rádio)
- E. Rutherford ⟶ Radiações $\alpha$ e $\beta$

**1900**

- H. Becquerel mostrou que raios $\beta$ = electrons
- P. Villard descobriu os raios $\gamma$ (rad. eletrom.)

**1903**

E. Rutherford e Soddy mostraram que RADIOATIVIDADE implica em TRANSMUTAÇÃO de elementos.

**Radioativo**

**Radioatividade**

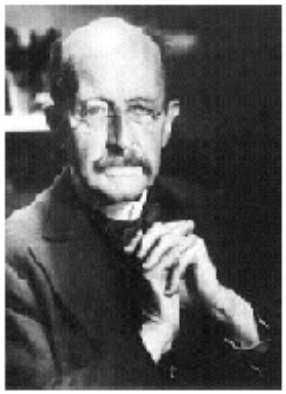
**Radioquímica**



**18-Jul-1898**

**Marie S. Curie (1867-1934 )**

# QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA: A IDÉIA REVOLUCIONÁRIA DE Max Planck (1900)



~ 1897 - 1900, Radiação Térmica:

- ondas eletromagnéticas produzidas por dipolos elétricos e oscilantes de frequência $\nu$;
- Idéias clássicas falharam na explicação da densidade de energia medida para a radiação do CORPO NEGRO;

Hipótese de Planck:

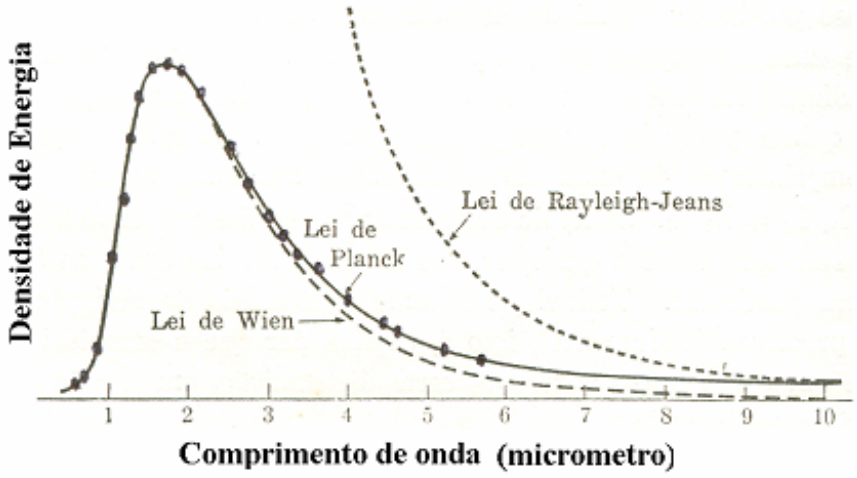
Energia dos Osciladores: sòmente múltiplos de uma quantidade discreta e finita de energia, $h\nu$, chamada "quantum de energia".

$$\epsilon = nh\nu \quad , \quad h = \text{const.} \quad , \quad n = 0, 1, 2, \ldots$$

$$W_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\left(e^{hc/\lambda kT} - 1\right)^{-1},$$

$\lambda$ = comp. de onda
$T$ = temp. absoluta
$c$ = velocidade da luz no v.
$k$ = const. Boltzmann

$h$ = const. de Planck = $6{,}625 \times 10^{-27}$ erg. s



# 1905 - ALBERT EINSTEIN e a NATUREZA DUAL DA LUZ

A luz se comporta como

- ONDA :  , $\nu$ (ou $\lambda = c/\nu$)

- CORPÚSCULO : ● , QUANTA ou FÓTONS , $E = h\nu$ $\left(\text{ou } E = \frac{hc}{\lambda}\right)$

"DUALIDADE ONDA-CORPÚSCULO"

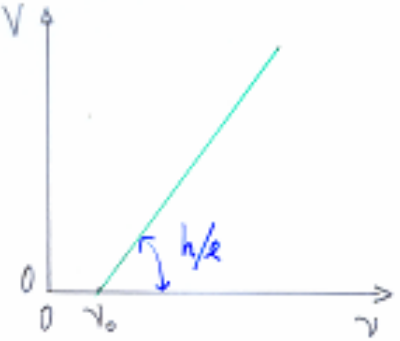
A idéia de FÓTONS DE LUZ veio dar a explicação para o EFEITO FOTOELÉTRICO:

Luz ultravioleta arranca elétrons dos metais (Lenard, 1899)

EF só acontece a partir de uma "frequência $\nu_0$", e é independente da intensidade da luz.

$h\nu = h\nu_0 + T^e_{max}$

- $h\nu$: energia incidente
- $h\nu_0$: energia limiar ⇓ liberação dos elétrons
- $T^e_{max}$: energia cinética dos elétrons (eV)




$V = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$, Eq. de Einstein

(Verificada por Millikan (1916) com grande precisão)

# 1905 - ALBERT Einstein e a TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL

- Princípio da Relatividade: As leis da Física são as mesmas em todos os sistemas de referência inerciais.
- Constância da Velocidade da luz: A velocidade da luz no vácuo é uma constante (c) independente do movimento da fonte e do observador.

↓

EQUIVALÊNCIA ENTRE MASSA E ENERGIA

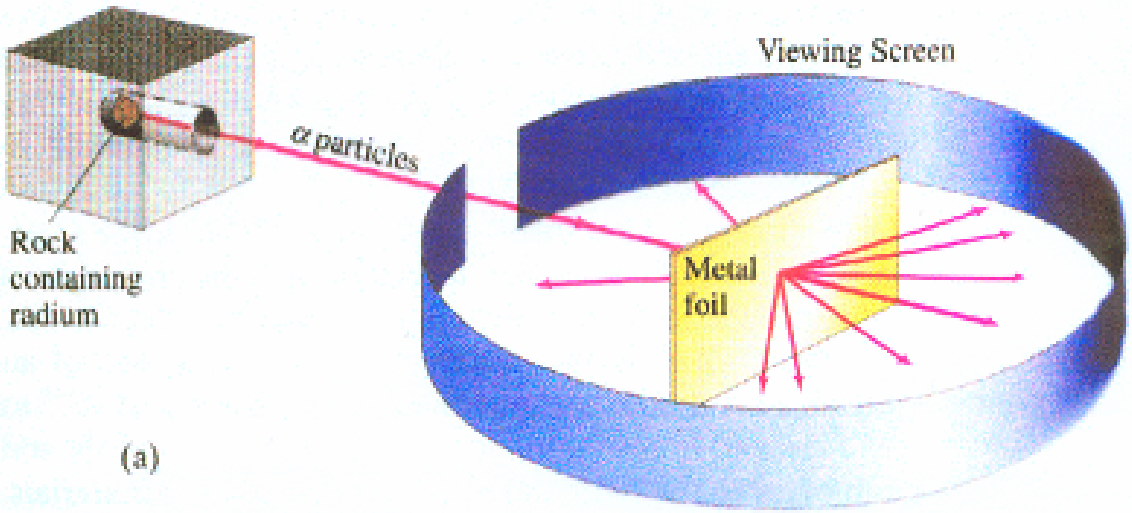
$$E = mc^2 = m_0c^2 + E_{cinética}$$

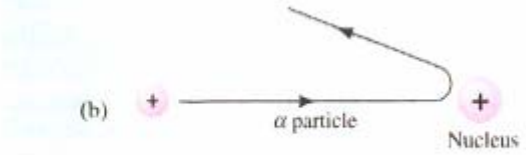
Fundamental no balanço de massa-energia nas Reações Nucleares



1909 - E. RUTHERFORD E ROYDS : RAIOS $\alpha \equiv He^{++}$

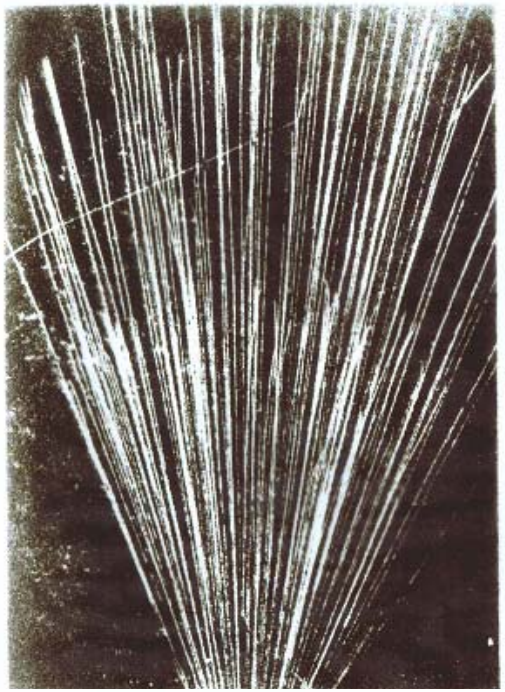
# 1911 - E. Rutherford e o Átomo Nuclear



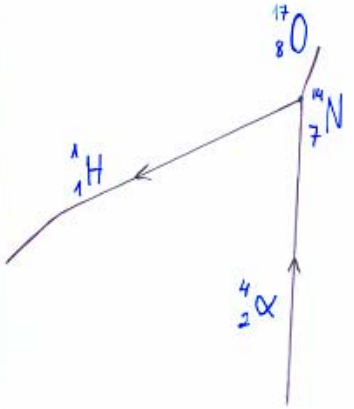



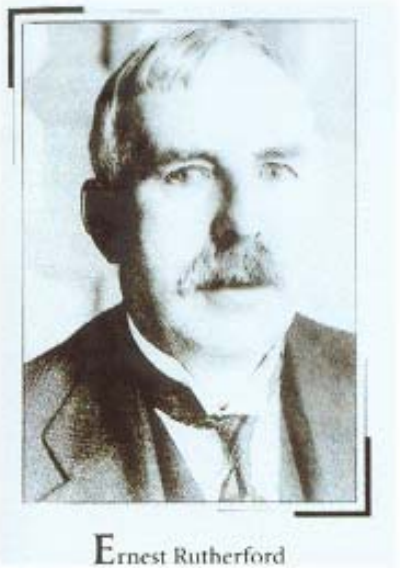



RUTHERFORD, Geiger e Marsden



1919, Rutherford e a 1ª REAÇÃO NUCLEAR



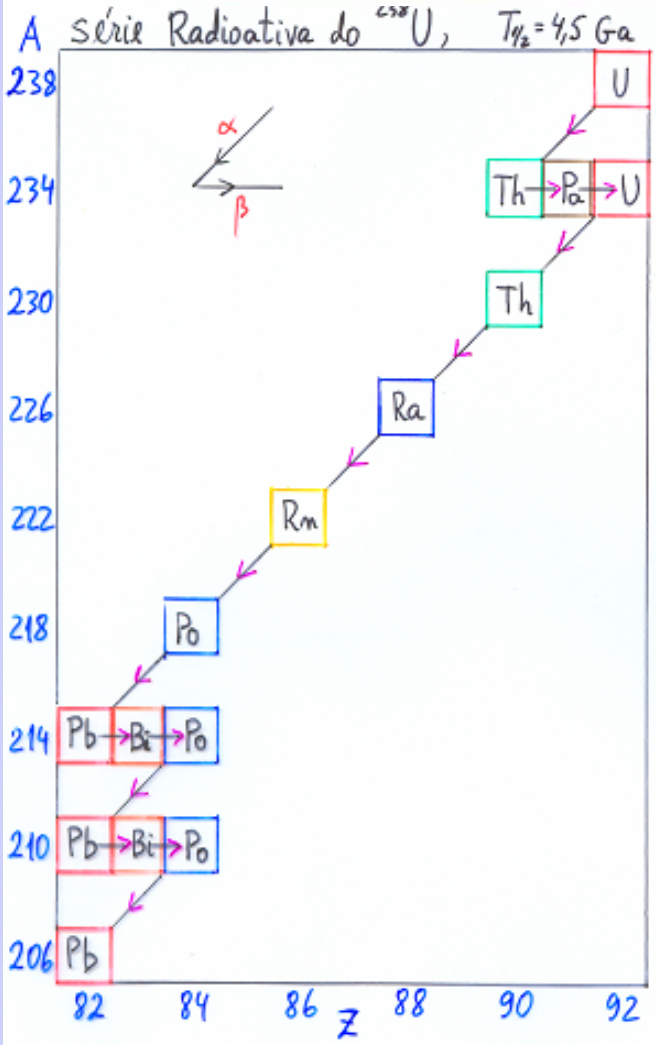



Ernest Rutherford

"Devemos concluir que o átomo de N se desintegra sob forças intensas liberadas na estreita colisão com uma partícula α rápida e que o átomo de hidrogênio que é liberado formava parte integrante do núcleo de nitrogênio ..."

Philosophical Magazine, vol. 37 p. 581 (1919).

# A IDADE DA TERRA




- Lord KELVIN, com argumentos termodinâmicos estimou
  - 100 Ma (1862)
  - 30 Ma (1897)
- Charles DARWIN (1809-1882)
  - precisava de 300 Ma para a sua Teoria da Evolução das Espécies (1859).
  - pensou em rejeitar a Teoria Evolucionista.
- E. RUTHERFORD (1903) Radioatividade natural → → Transmutação

3 séries de Elementos Radioativos:

- $^{238}_{92}U \longrightarrow 8\alpha + {}^{206}_{82}Pb$
- $^{235}_{92}U \longrightarrow 7\alpha + {}^{207}_{82}Pb$
- $^{232}_{90}Th \longrightarrow 6\alpha + {}^{208}_{82}Pb$

i) $U \longrightarrow Pb$, ii) medindo Pb/U em rochas e minérios de U, HENESY obteve 6 Ga para a Idade da Terra.

Idade $\approx \left(^{206}Pb/U\right) \times 7{,}5$ Ga → 4,5 Ga

# ANOS 20: MECÂNICA QUANTICA (ou ONDULATÓRIA)

## UMA NOVA TEORIA

1924, Louis de Broglie: ONDAS DE MATÉRIA
(dualidade onda-corpúsculo p/ partículas)




1926, Erwin Schrödinger: Função de onda, $\Psi$, e a Equação de Onda

1927,
- Davisson e Germer: Experiência da Difração de Elétrons (suporte para a hipótese de de Broglie)
- Werner Heisenberg: O Princípio de Incerteza (ou de Indeterminação).

> "Posição e momentum de uma partícula não podem ser determinados simultaneamente com precisão desejada."
>
> $\Delta x \cdot \Delta p \sim h$, $h \approx 6{,}6 \times 10^{-27}$ erg.s

Mecânica Quântica: Teoria Não-Determinista

↳ Impossibilidade de haver elétrons no núcleo atômico

Princ. Incert. → $T_e \approx 60$ MeV!
Experimentalm. → $T_{p\acute{e}s} \lesssim 3$ MeV
> 1ª CRISE na Física Nuclear

1928, Gamow, Condon e Gurney: EFEITO TÚNEL
Sucesso da MQ na explicação do fenômeno da DESINTEGRAÇÃO ALFA

(Rutherford previu, em 1920, a existência de uma partícula "neutra", composta de próton+elétron)

# O MARAVILHOSO ANO DE 1932

## 1) A dramática e emocionante descoberta do NEUTRON

- Bothe e Becker (1930): observação de uma radiação penetrante (tipo $\gamma$) na reação $\alpha + Be$.
- Joliot-Curie (18 JAN): concluíram que a "radiação penetrante" produzia protons energéticos em substâncias hidrogenadas.
- James CHADWICK: fazendo a "radiação penetrante" interagir com $H_2$, $He$, $N_2$ mostrou que se tratava de uma "partícula neutra" e de "muita massa". Anunciou a "existência do NEUTRON" em 17 FEV.

A reação nuclear era $\alpha + Be \longrightarrow C + n$

CONSTITUIÇÃO DO NÚCLEO ATÔMICO:

• PROTONS • ELETRONS • NEUTRONS

| NÚCLEO | ATÉ 1932 | A PARTIR DE 1932 |
|---|---|---|
| $^{13}_{7}N_6$ |  |  |
| $^{16}_{7}N_9$ |  |  |

$^{A}_{Z}X_{N=A-Z}$

... ainda o ANO DE 1932

2) Construção do 1º CICLOTRON (37 polegadas)
Ernest LAWRENCE e M.S. LIVINGSTON

3) 1ª verificação direta da relação de Einstein
$E = mc^2$ com a reação $p + Li \rightarrow \alpha + \alpha$
J D Cockcroft e E T S Walton

4) DESCOBERTA DO PÓSITRON ($e^+$ ou $\beta^+$) [02 AGO]
Carl ANDERSON, observou eletron positivo originário de raios cósmicos numa Câmara de nuvens sujeita a um C Magnético

A NOVA FÍSICA NUCLEAR

- neutrinos
- desintegração beta
- radioatividade artificial
- deuteron
- aniquilação de pósitrons
- radioisótopos

etc....



I. Curie, F. Joliot (15 JAN, 1934)

- Un nouveaux type de radioactivité (Paris)
- Artificial production of a new kind of radio-element (Londres)

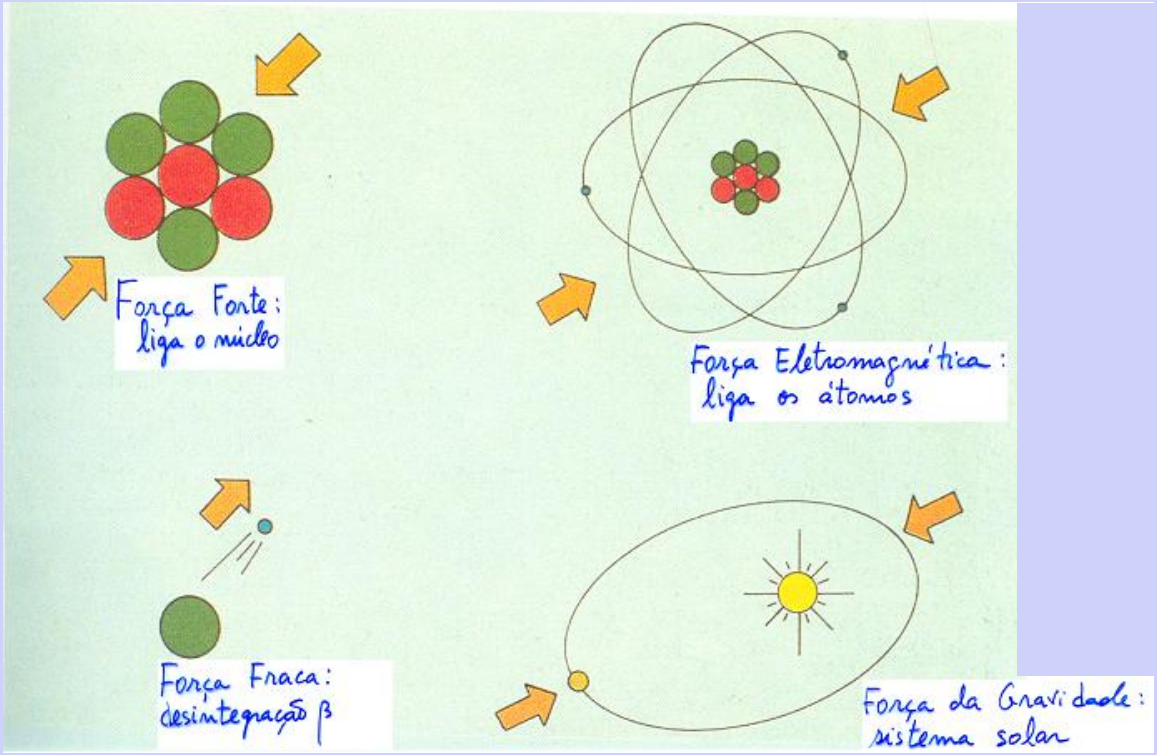
$$\alpha + Al \longrightarrow {}^{30}P + n$$
$$\hookrightarrow {}^{30}Si + \beta^{+}$$

## ... ainda em 1934

- E. Fermi : • Observou a radioatividade artificial provocada também por neutrons
  • Desenvolveu a Teoria da Desintegração $\beta$
  – força fraca – neutrinos (Pauli, 1930)

$$\beta^-: n \to p + e^- + \bar{\nu}_e \quad , \quad Z \to Z+1$$
$$\beta^+: p \to n + e^+ + \nu_e \quad , \quad Z \to Z-1$$

- 1935, H. Yukawa: hipótese da força nuclear, forte, de curto alcance, entre 2 nucleons, e a predição da existência de mesons, partículas mediadoras da interação forte e de massa $m_e < m < m_p$.



# O REVOLUCIONÁRIO ANO DE 1939

## O. HAHN, F. STRASSMANN - 22/DEZ/1938

ISÓTOPOS DE BÁRIO ($Z=56$) SÃO FORMADOS COMO CONSEQUÊNCIA DO BOMBARDEAMENTO DE URANIO ($Z=92$) COM NEUTRONS
(EVIDÊNCIA QUÍMICA PARA A FISSÃO)

## L. MEITNER, O. FRISCH - 16/JAN/1939

- INTERPRETARAM O FENÔMENO E DERAM O NOME DE FISSÃO
- SUGERIRAM O MODELO DA GOTA LÍQUIDA
- ESTIMARAM EM ~ 200 MeV A ENERGIA LIBERADA/FISSÃO.

## O. FRISCH - 16/JAN/1939

- PREVIU DIST. CARGA, MASSA E ENERGIA DOS FRAGMENTOS
- FORNECEU EVIDÊNCIA FÍSICA PARA A FISSÃO (ALTA TAXA DE IONIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS)

## FERMI, SZILARD, EQUIPE JOLIOT-CURIE E OUTROS (MAR/ABR/1939)

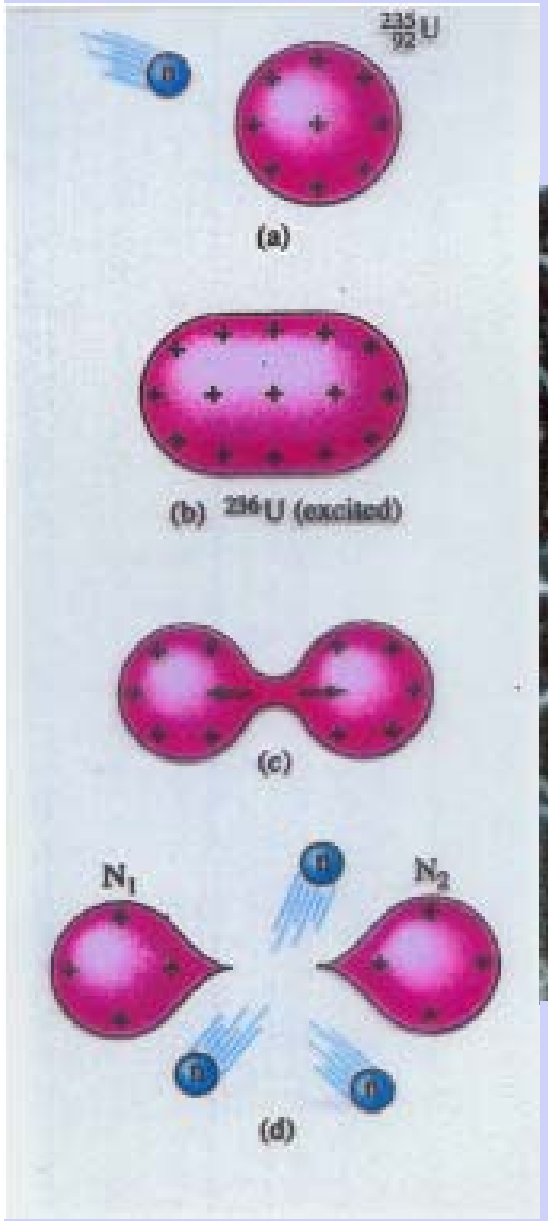
- NEUTRONS SÃO EMITIDOS NA FISSÃO DO URANIO

## FLÜGGE - JUL/1939

- DESCRIÇÃO DETALHADA DE UMA REAÇÃO DE FISSÃO EM CADEIA

## N. BOHR & J. A. WHEELER - SET/1939

- O MECANISMO DA FISSÃO NUCLEAR (MODELO DA GOTA)


$^{235}_{92}U$
n
(a)
(b) $^{236}U$ (excited)
(c)
$N_1$
$N_2$
n
n
n
(d)



# Lise Meitner (1878-1968)

## A física da Fissão Nuclear



... ainda o ano de 1939

Hans Bethe (1906-2005) e Carl von Weizsäcker (1912-2003)

Reações de Fusão por "Queima de Hidrogénio" para explicar a produção de energia no Sol e em outras estrelas (ciclo CNO)

Para o Sol: sequência p-p

$$2\times {}_1^1H + 2\times {}_1^1H \rightarrow 2\times {}_1^2H + 2\beta^+ + 2\nu$$

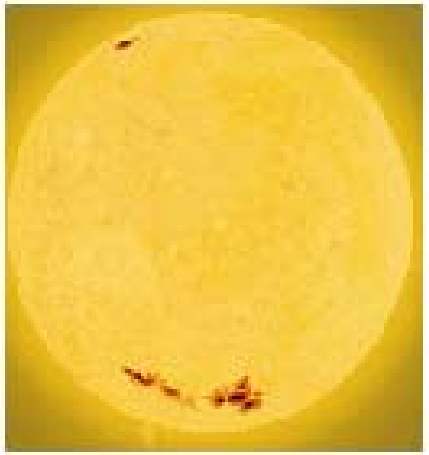
$$2\times {}_1^1H + 2\times {}_1^2H \rightarrow 2\times {}_2^3He + 2\gamma$$

$${}_2^3He + {}_2^3He \rightarrow {}_2^4He + 2\times {}_1^1H$$

$$4\,{}_1^1H \rightarrow {}_2^4He + 2\beta^+ + 2\nu + 2\gamma$$

$$\rightarrow 26.7\ MeV$$

$$\sim 6.7\ MeV/{}_1^1H$$



1939: O ANO DAS FONTES DE ENERGIA

A Energia utilizada pelo homem é de ORIGEM NUCLEAR

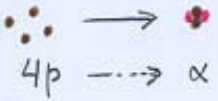
Por que as pessoas se manifestam contrárias à Energia Nuclear?

- FUSÃO DE NÚCLEOS LEVES (energia produzida nas estrelas)
- FISSÃO DE NÚCLEOS PESADOS (energia disponível na Terra nos elementos físseis)
- RADIOATIVIDADE ($\alpha$, $\beta$)

## Balanço de Massa-Energia, $E = mc^2$ (Einstein, 1905)



U ⋯⋯> Kr + Ba , $m_U > m_{Kr} + m_{Ba}$ , $\Delta M \approx 200$ MeV

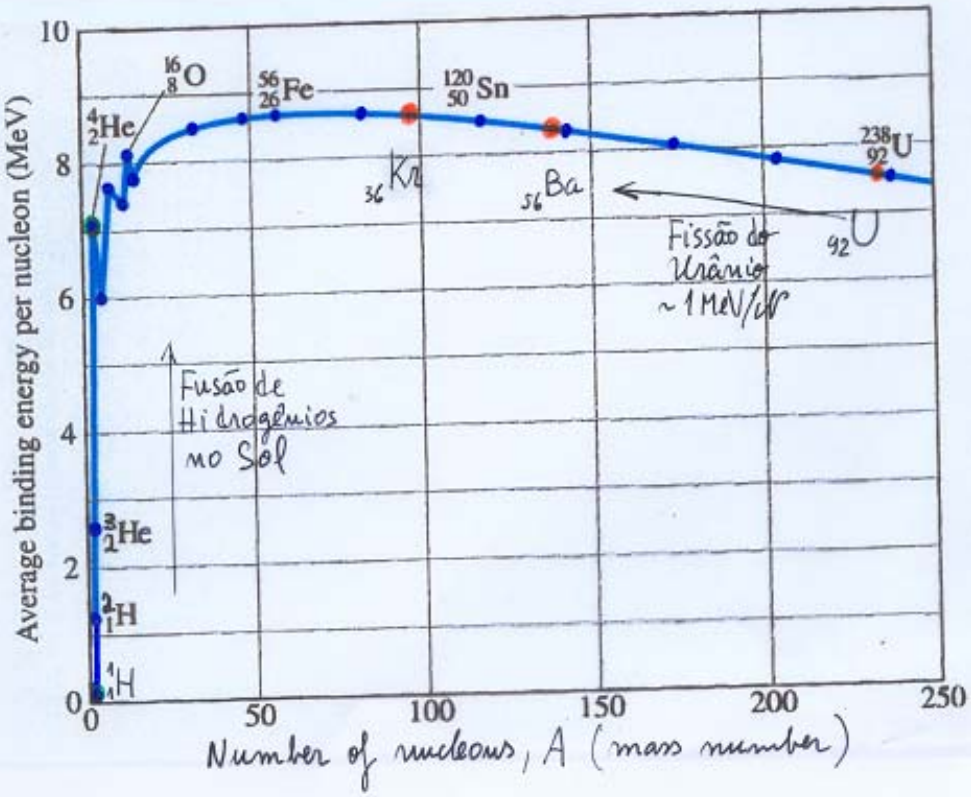


4p ⋯⋯> $\alpha$ , $4m_p > m_\alpha$ , $\Delta m \approx 26$ MeV

$$m_{Z,N} = Z m_p + N m_n - B_{Z,N}$$

Fissão do U: $\bar{B}_{prod} > \bar{B}_U$ , ganho de $\sim 1$ MeV/N

Fusão de H's: $\bar{B}_\alpha > \bar{B}_p (=0)$ , ganho de $\sim 7$ MeV/N



F.D. Roosevelt
President of the United States
White House
Washington, D.C.

August, 2nd, 1939

Senhor Presidente,

Algumas pesquisas desenvolvidas recentemente por E. Fermi e L. Szilard, cujas comunicações me foram entregues em manuscritos, induziram-me a considerar que o elemento urânio possa ser transformado, num futuro próximo, em uma nova e importante fonte de energia. Alguns aspectos da situação justificam uma certa vigilância e uma rápida intervenção por parte da administração estatal. Considero, portanto, que seja meu dever solicitar a V. Excia. grande atenção para os fatos e recomendações que se seguem:

Nos últimos quatro meses, foi confirmada a possibilidade (graças aos trabalhos de Joliot-Curie, na França, e os de Fermi e Szilard, na América) que torna possível produzir, em uma grande massa de urânio, uma **"reação nuclear em cadeia"** capaz de gerar grande quantidade de energia e inúmeros elementos com características semelhantes ao rádio. Atualmente, temos quase que certeza que poderemos chegar a estes resultados num futuro imediato.

Este novo fenômeno poderá permitir a construção de bombas extremamente potentes. Uma única bomba deste novo tipo, transportada por uma embarcação e explodindo num porto, poderá destruir inteiramente o porto e grande parte do território adjacente. Todavia, elas devem ser relativamente pesadas para serem transportadas por avião.

Os Estados Unidos dispõem de uma quantidade pequena de minérios com baixo teor de urânio. Encontramos bons minérios de urânio no Canadá e na Tchecoslováquia, sendo que o país que possui as melhores minas de urânio é o Congo Belga.

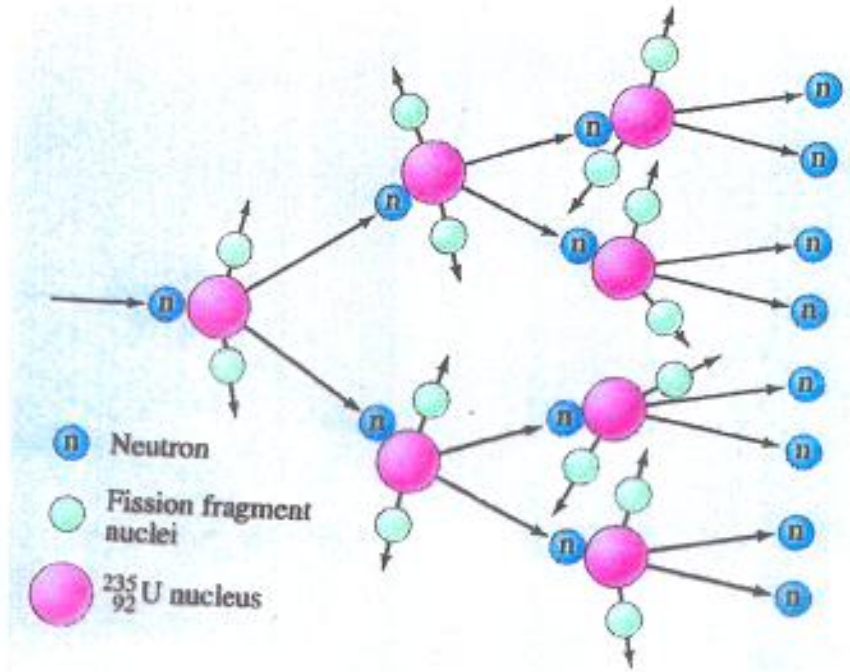
Em função de toda essa situação, seria interessante e oportuno um contato permanente entre a alta administração do governo e o grupo de físicos que estão estudando a **"reação em cadeia"** na América. Uma das maneiras de realizar tal ligação seria a escolha de uma pessoa que gozasse de sua confiança e que poderia agir de maneira não oficial. As suas atribuições seriam as seguintes:

a.Manter o governo informado dos desenvolvimentos recentes neste campo e formular recomendações através de intervenções do estado, para assegurar aos Estados Unidos o suprimento necessário de material uranífero;

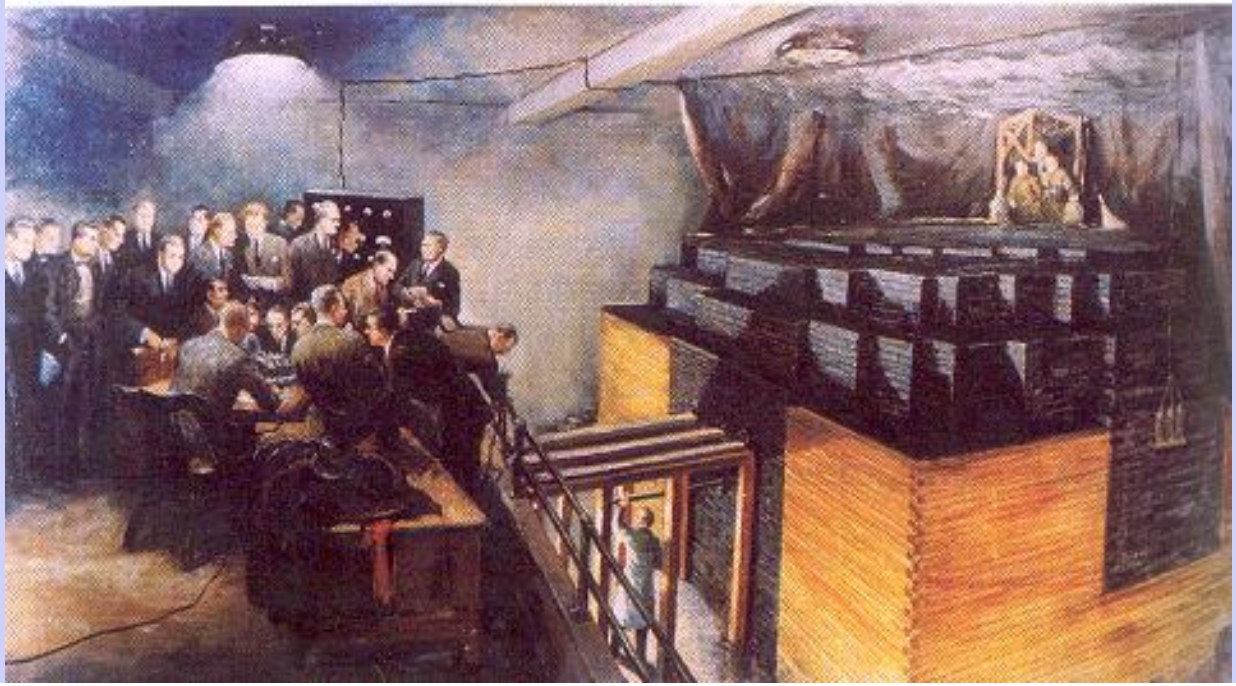
b.Acelerar o trabalho no campo experimental que se desenvolve atualmente nos laboratórios das Universidades de forma limitada, fornecendo mais financiamento ou, caso seja necessário, mantendo contato com empresas privadas dispostas a colaborar com esta causa, e procurando a participação de laboratórios industriais que disponham de aparelhagem necessária.

Sou conhecedor do fato de que a Alemanha efetivamente bloqueou a venda de urânio das minas da Tchecoslováquia, das quais tomou posse. A decisão da agir rapidamente desta forma pode ser explicada pelo fato de que o filho do Sub-Secretário de Estado, Von Weizsäcker, trabalha no Kaiser-Wilhelm-Institut de Berlim, onde estão sendo realizadas, em parte, as mesmas pesquisas sobre o urânio que se desenvolvem nos Estados Unidos.

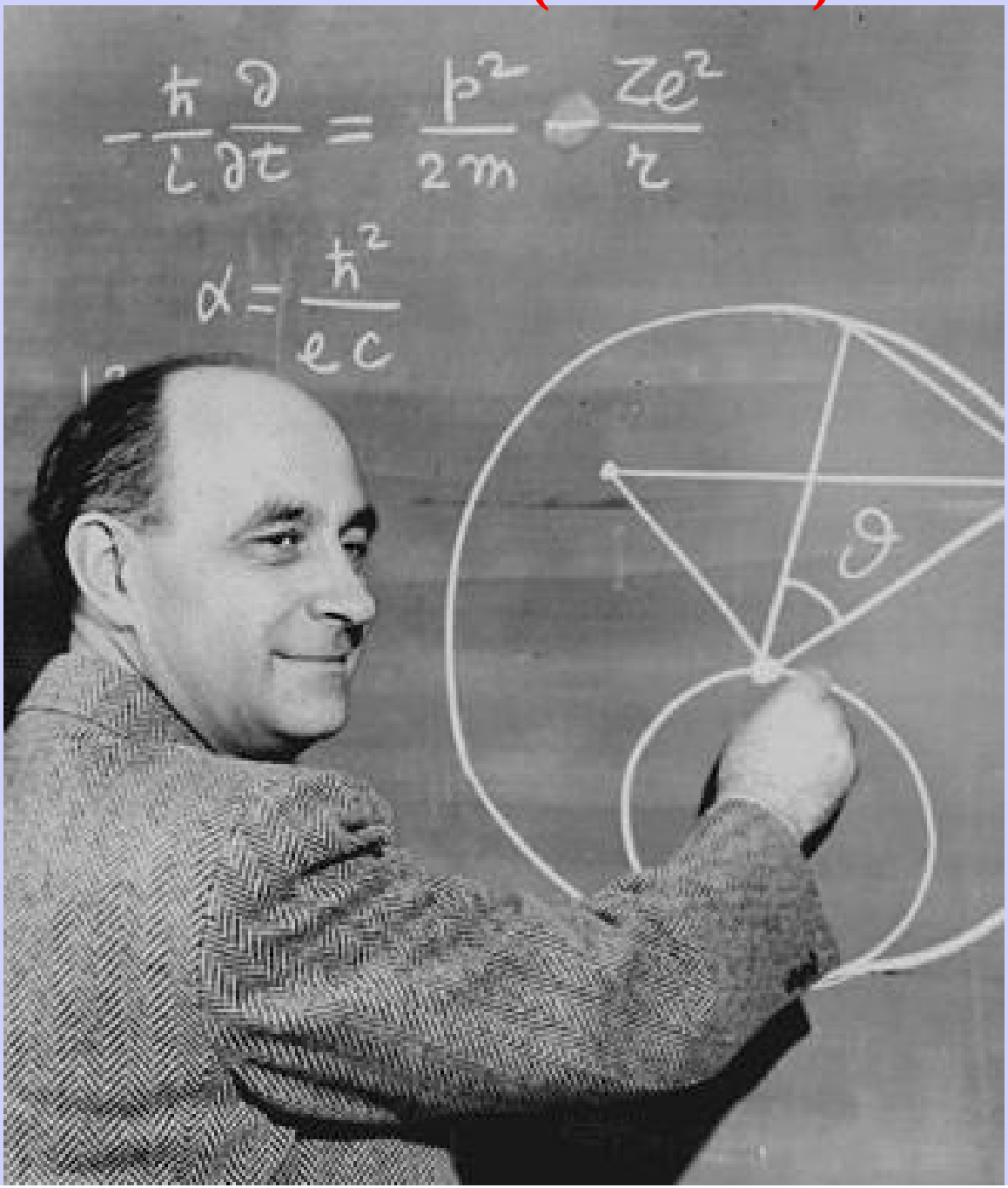
Cordialmente
Albert Einstein




**Primeiro Reator Nuclear, 02/dez/1942 (200 W)**



# Enrico Fermi (1901-1954)



# CONSEQUÊNCIAS DA FISSÃO NUCLEAR

- 02/DEZ/42 : 1º REATOR NUCLEAR (CHICAGO), 200 W
- 16/JUL/45 : 1ª Explosão Nuclear (TESTE TRINITY) Alamogordo, N. México, 20 kt-TNT
- 06/AGO/45 : Lançamento do 1º artefato nuclear, sôbre Hiroxima (bomba de fissão, $^{235}U$)
- 09/AGO/45 : Lançamento do 2º artefato nuclear, sôbre Nagasaki (bomba de fissão, $^{239}Pu$)
- 25/DEZ/46 : 1º Reator Nuclear soviético
- 29/AGO/49 : 1ª Explosão Nuclear soviética
- 01/NOV/52 : 1º artefato a fusão NUCLEAR (bomba-H)
- 12/AGO/53 : 1º artefato a fusão soviético
- 1954 : 1ª Usina nuclear de Potência (5 MW) (construção soviética)
- 1954 : 1º Submarino a propulsão nuclear: (Nautilus, atravessou o Pólo Norte)
- 1956 : 1ª Usina Nuclear de Geração de Eletricidade em larga escala (Calder Hall, Inglaterra), 78 MV.
- 23/Mon/62 : 1º Navio mercante a propulsão nuclear: Savannah (300 kg de $^{235}U$ / 3 anos)


Unmanned balloon
30 000 m
Concorde
15 000 m
Kolhörster
9000 m (1914)
Everest
8848 m
Mont Blanc
4807 m
Pic du Midi
2859 m
Lake Erie
IMB ~500 m

# DESCOBERTA DO MÉSON-π (sugerido por Yukawa, 1935)

... CESAR LATTES havia pedido a técnicos da Ilford para incorporar BÓRAX nas emulsões, com o objetivo de estudar neutrons da radiação cósmica. Para surpresa, o bórax fez melhorar o desempenho das emulsões e a qualidade das imagens dos traços revelados.

... CESAR LATTES pediu a Occhialini que expusesse as chapas com e sem bórax no Pic-du-Midi (~2,8 Km de altitude), onde é mais provável de se captarem eventos da radiação cósmica.

... Na volta, após ~6 semanas, Occhialini notou que as chapas com bórax mostravam evidências de mésons sendo capturados por núcleos da emulsão, desintegrando-os.

- 18 Jan/1947: MULTIPLE DISINTEGRATION PROCESSES PRODUCED BY COSMIC RAYS
  Occhialini e Powell NATURE 159, 93.

- 08 Fev/1947: NUCLEAR DISINTEGRATIONS PRODUCED BY SLOW CHARGED PARTICLES OF SMALL MASS
  Occhialini e Powell NATURE 159, 186.

- 08 Mar/1947: DETERMINATION OF THE ENERGY AND MOMENTUM OF FAST NEUTRONS IN COSMIC RAYS
  Lattes e Occhialini NATURE 159, 331




NATURE May 24, 1947

## PROCESSES INVOLVING CHARGED MESONS

By Dr. C. M. G. LATTES, H. MUIRHEAD, Dr. G. P. S. OCCHIALINI and Dr. C. F. POWELL
H. H. Wills Physical Laboratory, University of Bristol

NATURE October 4, 1947

## OBSERVATIONS ON THE TRACKS OF SLOW MESONS IN PHOTOGRAPHIC EMULSIONS*

By C. M. G. LATTES, Dr. G. P. S. OCCHIALINI and Dr. C. F. POWELL
H. H. Wills Physical Laboratory, University of Bristol

Part I. Existence of Mesons of Different Mass

NATURE October 11, 1947

## OBSERVATIONS ON THE TRACKS OF SLOW MESONS IN PHOTOGRAPHIC EMULSIONS

By C. M. G. LATTES, Dr. G. P. S. OCCHIALINI
AND
Dr. C F. POWELL
H. H. Wills Physical Laboratory, University of Bristol

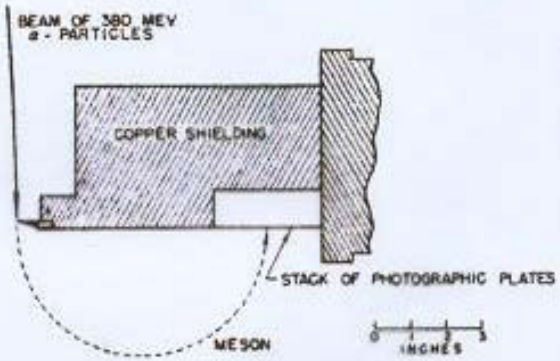
Part 2: Origin of the Slow Mesons




SCIENCE, March 12, 1948

## PRODUCTION OF MESONS BY THE 184 - INCH BERKELEY CYCLOTRON

E. Gardner and C.M.G. Lattes
University of California, Berkeley






**Produção Artificial e Detecção de Mesons Pi**

# CESAR LATTES (1924-2005)

- One of the discoverers of the $\pi$-meson
  [in cosmic rays, Bristol (1947)]
- First artificial production of $\pi$-mesons
  [from 380-MeV $\alpha$ particles, Berkeley (1948-49)]



# IMPORTANCIA DA DESCOBERTA DO MESON-$\pi$

- Identifica a partícula mediadora da força nuclear, a interação forte, de curto alcance, responsável pela coesão do núcleo atômico: o méson da teoria de Yukawa (1935), $m_\pi \approx 300\, m_e$.
- Demonstra a existência de duas partículas distintas com massas intermediárias entre a do elétron e do próton (méson-$\pi$ e méson-$\mu$) uma desintegrando-se na outra, isto é, $\pi \longrightarrow \mu$ (o méson-$\mu$ era o anteriormente descoberto por Anderson e Neddermeyer (1937).
- **Dá início à era da Física de Partículas com o uso de aceleradores.**
- Cesar Lattes estimula, articula, lidera e realiza, no Rio, a criação de um Instituto dedicado à pesquisa fundamental em Física, o CENTRO BRASILEIRO de PESQUISAS FÍSICAS - CBPF (1949)
- CBPF $\longrightarrow$ IMPA (1952), LNCC (1980), LNLS (1986).

  CNPq (1951)

  ANOS 50 { LAB. FÍSICA CÓSMICA EM CHACALTAYA
  INST. ARGENTINO DE FÍSICA ESPACIAL

  CLAF (1960)

  COLABORAÇÃO BRASIL-JAPÃO (de Raios Cósmicos) - 1962
- GRUPOS DE GEOCRONOLOGIA { CNR, Pisa - 1964
  UNICAMP - 1972

# MODELO NUCLEAR EM CAMADAS
(NÚMEROS MÁGICOS)

MODELO ATOMICO EM CAMADAS → ELETRONS NOS ATOMOS

| Z | El |
|---|---|
| 2 | He |
| 10 | Ne |
| 18 | Ar |
| 36 | Kr |
| 54 | Xe |
| 86 | Rn |

Partical. Estáveis

MARIA G. MAYER - DEZ/1949



NEUTRONS, PROTONS NOS NÚCLEOS

| Z ou N | Ex. |
|---|---|
| 2 | $^{4}_{2}He_{2}$ |
| 8 | $^{16}_{8}O_{8}$ |
| 20 | $^{40}_{20}Ca_{20}$ |
| 28 | $^{58}_{28}Ni_{30}$ |
| 50 | $^{120}_{50}Sn_{70}$ |
| 82 | $^{208}_{82}Pb_{128}$ |
| 126 | |

Particul. Estáveis

ENERGIA DE LIGAÇÃO NUCLEAR, ENERGIA DE SEPARAÇÃO DE PROTONS E NEUTRONS, Nº DE ISÓTOPOS, ABUNDÂNCIA ISOTÓPICA, PROBAB. DE ABSORÇÃO DE NEUTRONS, FORMA NUCLEAR, TAXA DE DESINTEGRAÇÃO, ISOMERISMO NUCLEAR, ....., OUTRAS, ...

# Física Nuclear nos anos 50, 60, e adiante

- Desenvolvimento dos Aceleradores de Partículas e de Íons Pesados de Altas (MeV) e Altíssimas (GeV) Energias
- Propriedas Nucleares dos Radioisótopos.
- Reatores Nucleares para Pesquisa
- Desenvolvimento da Instrumentação Nuclear
- Produção de Núcleos Transurânicos e Superpesados.
- Astrofísica Nuclear
- Reações de Fissão e Spallation
- Plasma e Fusão Termonuclear Controlado
- Nucleos Exóticos

# Física Nuclear e o Bem Estar da Sociedade

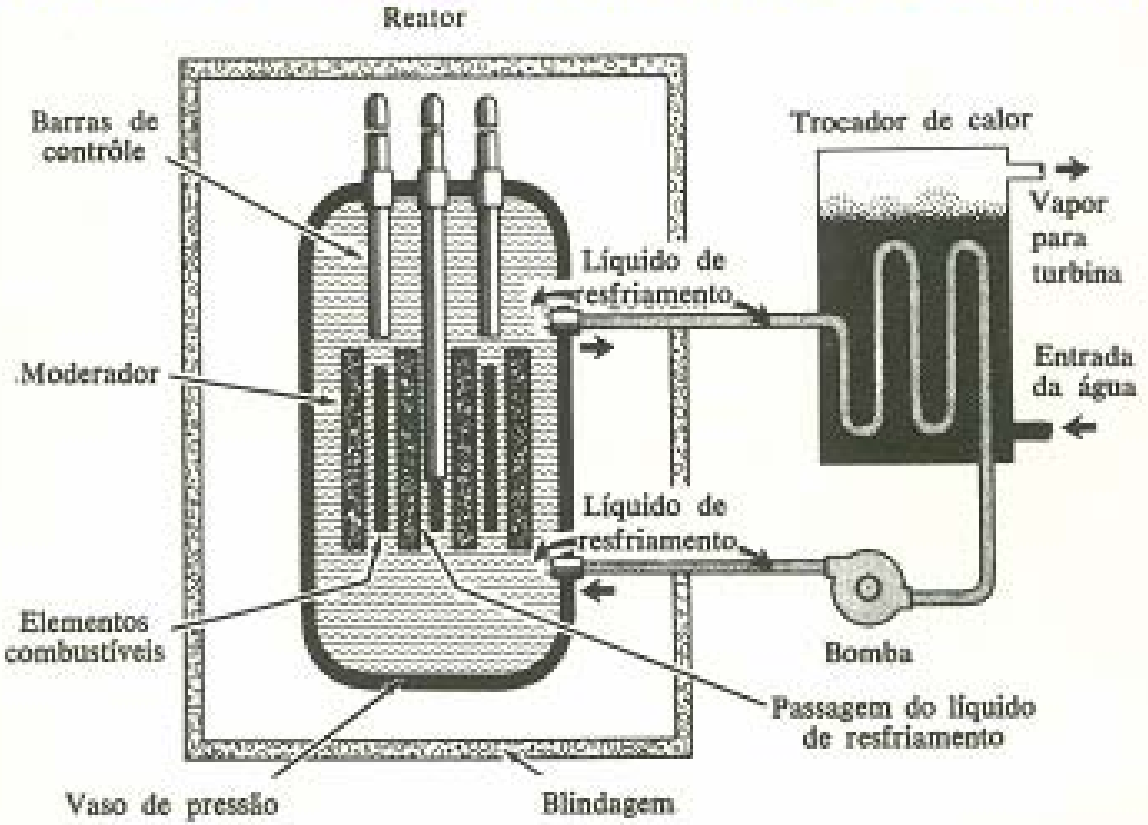
- **Medicina Nuclear (Diagnóstico e Tratamento)**
  - Uso de Radioisótopos como traçadores em geral
  - Tomografia por emissão simples de fóton (SPET)
  - Tomografia por emissão de pósitron (PET)
  - Ressonância Nuclear Magnética (NMR)
  - Radioterapia ($\gamma$), Eletronterapia ($e^-$), mesonterapia ($\pi$)
  - Implantação de Marca-Passo Cardíaco.




PET: Imagens para diagnóstico por aniquilação elétron-pósitron.

# Física Nuclear e o Bem Estar da Sociedade

- **Engenharia Nuclear**
  - Produção de Eletricidade em Usinas Nucleares
  - Pesquisa e Desenvolvimento do Ciclo do Combustível
  - Geração de Potência Elétrica por meio de Reatores de Fusão Termonuclear Controlada



# Física Nuclear e o Bem Estar da Sociedade

- **RADIOPROTEÇÃO / DOSIMETRIA DAS RADIAÇÕES**
  - Proteção contra as Radiações
  - Efeitos das Radiações nos Organismos - RADIOBIOLOGIA
- **GEOLOGIA**
  - Prospecção de Urânio e Tório
  - Geocronologia
- **ARQUEOLOGIA**
  - Datação por $^{14}C$
- **CIÊNCIAS ESPACIAIS**
  - Baterias Atômicas p/ satélites
  - Meteorítica
- **AGRICULTURA**
  - Variedades de Plantas por Irradiação de Sementes
  - Radioisótopos p/ investigação do Metabolismo das Plantas (CENA: Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP)
- **OUTROS**
  - Esterilização de Equip. Cirúrgico
  - Irradiação de Alimentos p/ conservação
  - Alarmes contra incêndio
  - ... etc ....

# INÚMERAS TÊM SIDO AS LIÇÕES APRENDIDAS AO LONGO DESTE SÉCULO

- É PRECISO SER AVENTUREIRO TAMBÉM EM CIÊNCIA, PARA QUE NOVAS VERDADES VENHAM A SER CONHECIDAS.
- CIÊNCIA COMO EXERCÍCIO CONSTANTE DE INVESTIGAÇÃO SÔBRE A NATUREZA ("FEELING" SÔBRE A NATUREZA)
- CIENCIA É, SOBRETUDO, UMA AVENTURA DO ESPÍRITO HUMANO.
- A CIENCIA NÃO ESCAPA ÀS EXPERIÊNCIAS DE FRATERNIDADE HUMANA.
- AS GRANDES REVOLUÇÕES SE FAZEM NO SILÊNCIO DOS PEQUENOS LABORATÓRIOS
- NÃO HÁ CIÊNCIA SEM O APOIO DA SOCIEDADE; E SEM CIÊNCIA A SOCIEDADE SUCUMBE.

# "O que é a Ciência?

Quando se sabe uma coisa, sustenta-se
o que se sabe;
não se sabe uma coisa, reconheça-se que
não se sabe: eis aqui a Ciência."

Confúcio (551-479 a.C.)